ANALISIS PENGARUH LAJU KOROSI TERHADAP HASIL PENGELASAN SMAW DENGAN BERBAGAI MEDIA PENDINGIN

Tugas Akhir

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1 Teknik Mesin

Diajukan oleh :

NAMA : ADITIA SURYO LAKSONO

NIM : 143010067

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS WAHID HASYIM SEMARANG

2020

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS WAHID HASYIM

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH LAJU KOROSI TERHADAP HASIL PENGELASAN SMAW DENGAN BERBAGAI MEDIA PENDINGIN

Telah diperiksa, disetujui dan dipertahankan dihadapan Dewan Penguji Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.

Pada :

Hari : Rabu

Tanggal : 11 Agustus 2020

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Dr. H. Helmy Purwanto, ST., MT.	Darmanto, ST., M.Eng.
NPP: 05.01.1.0060	NPP: 05.04.1.0112

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS WAHID HASYIM

LEMBAR PENGESAHAN UJIAN/REVISI

Nama : Aditia Suryo Laksono

NIM : 143010067

Judul : Analisis Pengaruh Laju Korosi Terhadap Hasil Pengelasan SMAW Dengan Berbagai Media Pendingin.

Telah dipertahankan dan di revisi didepan Dewan Penguji Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Univeritas Wahid Hasyim Semarang.

1. Penguji 1
   Nama : Dr. H. Helmy Purwanto, ST ., MT .
   Tanggal Pengesahan : 28 - 09 - 2020
   Tanda Tangan : .....

2. Penguji 2
   Nama : Imam Syafa'at, ST ., MT .
   Tanggal Pengesahan : 21/09/2020
   Tanda Tangan : .....

3. Penguji 3
   Nama : Agung Nugroho, ST ., MT .
   Tanggal Pengesahan : 28-09-2020
   Tanda Tangan : .....

Semarang,

Mengetahui

Ketua Jurusan

M. Dzulfikar, ST ., MT.

NPP. 406.14.0.19102

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS WAHID HASYIM

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama	: Aditia Suryo Laksono
NIM	: 143010067
Program studi	: Teknik Mesin

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini bukan merupakan jiplakan dan juga bukan dari karya orang lain.

Semarang,

Yang Menyatakan,

(Aditia Suryo Laksono)

MOTTO DAN HALAMAN PERSEMBAHAN

MOTTO

- Langkah kecil mengubah diri demi keluarga, bangsa dan negara.
- Yakin, fokus dan optimis untuk cita – cita.
- Tidak ada kata menyesal, pengalaman menjadi jalan keberhasilan.
- Jika kita belum pernah mencoba, bagaimana kita akan tahu jika ada peluang.
- Saya datang, saya bimbingan, saya ujian dan saya menang (winner, winner chicken diner).

PERSEMBAHAN

- Terima kasih untuk kedua orang tua tercinta Ibu Mey Herawati dan Bapak Suryadi yang telah mendidik, membimbing, banyak hal lain bermanfaat yang tidak bisa disebutkan satu persatu dan untuk adik Adnan Surya Azhari S.E yang telah memberikan semangat.
- Terima kasih untuk teman – teman mahasiswa Teknik Mesin Universitas Wahid Hasyim yang telah membantu memberikan saran dan kritik yang membangun sebagai bekal pengerjaan tugas akhir.

KATA PENGANTAR

Puji syukur panjatkan atas karunia dan anugerah Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat terselesaikannya penulisan Tugas Akhir (TA) sebagai syarat meraih gelar Sarjana Strata-1 Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Wahid Hasyim Semarang. Adapun judul Tugas Akhir ini adalah "Analisa Pengaruh Laju Korosi Terhadap Hasil Pengelasan SMAW Dengan Berbagai Media Pendingin ".

Pembuatan Tugas Akhir ini merupakan hasil dari pengamatan, percobaan dan pengumpulan data selama pelaksanaan kegiatan pengujian, untuk itu pada kesempatan ini penyusun menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. S.M Bondan Respati, ST., MT ., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.
2. Bapak M. Dzulfikar, ST., MT ., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.
3. Bapak Dr. H. Helmy Purwanto, ST., MT ., selaku Dosen Pembimbing 1.
4. Bapak Darmanto, ST., M.Eng ., selaku Dosen Pembimbing 2.
5. Bapak Agung Nugroho, ST., MT ., selaku Koordinator Tugas Akhir.
6. Ibnu Katsir, Rifki ardi, Abdul latif, Ryando Lumbanraja, M. Abdul rouf, Rikko. S, Akhmad Afid, Prakoso Legowon, Niko P, Pebri Romadhon, Tri J dan seluruh rekan angkatan 2014 yang selalu menyemangati.

Penulis menyadari dalam penyusunan laporan kerja praktek ini masih jauh dari kata sempurna, oleh sebab itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Atas perhatian dan bantuan dari semua pihak penulis ucapkan terima kasih.

Semarang, 10 Juli 2020

Penulis

vi

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN ii
LEMBAR PENGESAHAN UJIAN/REVISI iii
HALAMAN PERNYATAAN iv
MOTTO DAN HALAMAN PERSEMBAHAN v
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR TABEL x
DAFTAR NOTASI xi
ABSTRAK xii
BAB I 1
PENDAHULUAN 1
I.1 Latar Belakang 1
I.2 Rumusan Masalah 2
I.3 Tujuan Penelitian 3
I.4 Batasan Masalah 3
I.5 Manfaat penelitian 3
BAB II 4
DASAR TEORI 4
II. 1 Tinjauan Pustaka 4
II.2 Pengelasan 7
II.3 Las Busur Elektroda Terbungkus (*Shielded Metal Arc Welding*) 10
II.4 Siklus Termal lasan 11
II.5 Pendinginan (*cooling*) 12
II.6 Baja Karbon Rendah 13
II.7 Korosi 14
1. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi 18
2. Bentuk-Bentuk Korosi 22
II.8 Korosi pada daerah las 23
II.9 Dampak korosi 24

BAB III 26
METODOLOGI 26
III. 1 Alat Dan Bahan Penelitian 26
1. Alat 26
2. Bahan 28
III. 2 *Flowchart* Penelitian 30
III. 3 Persiapan Penelitian 31
III. 4 Prosedur pengujian korosi 31
III. 5 Lembar kerja 32
III. 6 Pembuatan spesimen uji 32
BAB IV 34
HASIL DAN PEMBAHASAN 34
IV. 1 Pengujian komposisi 34
IV. 2 Pengujian laju korosi 35
IV. 3 Pengamatan struktur mikro 37
BAB V 40
PENUTUP 40
V. 1 Kesimpulan 40
V. 2 Saran 40
DAFTAR PUSTAKA 41

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Las Busur SMAW 10
Gambar II. 2 Transformasi fasa pada logam hasil pengelasan..... 12
Gambar II. 3 Garis-garis pendinginan diagram..... 13
Gambar II. 4 korosi (Fontana, 1978)..... 15
Gambar II. 5 Proses korosi pada baja..... 19
Gambar II. 6 Volume relatif besi dan oksidasi 20
Gambar II. 7 (a) Skema struktur ferit di dalam logam las, ... 23
Gambar II. 8 Diagram CCT (Wiryosumarto, 2004)..... 24
Gambar II. 9 Perubahan temperatur dan tegangan sisa pada saat pengelasan 24
Gambar III. 1 Neraca Digital 26
Gambar III. 2 Gelas ukur 26
Gambar III. 3 Beaker glass..... 27
Gambar III. 4 Ragum 27
Gambar III. 5 Jangka sorong..... 27
Gambar III. 6 spesimen uji..... 28
Gambar III. 7 Flowchart Penelitian..... 30
Gambar III. 8 Las SMAW..... 33
Gambar III. 9 Proses pengelasan..... 33
Gambar III. 10 Proses pendinginan..... 33
Gambar IV. 1 Korosi pada logam dengan pendinginan..... 35
Gambar IV. 2 Grafik laju korosi 36
Gambar IV. 3 Struktur mikro..... 38

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Klasifikasi baja karbon (Wiryosumarto dan Okumura, 1991) 13
Tabel II. 2 Konstanta perhitungan laju korosi berdasarkan satuan 16
Tabel II. 3 konversi satuan (Bunga, 2008) 16
Tabel II. 4 Distribusi kualitas ketahanan korosi suatu material (Fontana, 1986) . 16
Tabel III. 1 Lembar Kerja Penguian 32
Tabel IV. 1 Uji komposisi (PT. Itokoh Ceperindo) 34
Tabel IV. 2 Data hasil pengujian laju korosi 36

DAFTAR NOTASI

Symbol	keterangan	satuan
K	Konstanta	gr/m2.h
w	Kehilangan berat	mg
T	Waktu korosi	jam
D	Kepadatan (*Density*)	gr/cm3
A	Luas permukaan terkorosi	cm2
I_{corr}	Densitas laju korosi (pers 2-2)	mA/cm2
W_o	Berat baja sebelum korosi	gr
W_c	Berat baja setelah korosi	gr
M_{ac}	massa actual korosi(pers 2-4)	gr/mm2
t	watu terhadap korosi	sec
MPY	Laju korosi (*corrosion rate*) (pers 2-1)	Inch/y

ABSTRAK

Korosi merupakan kerusakan atau degradasi pada material logam yang terjadi karena proses kimia atau elektrokimia dengan lingkungan. Sifat korosi dapat mengakibatkan kerusakan dan berakibat material kehilangan kekutan meknis termasuk pada baja karbon rendah yang sering digunakan untuk pembuatan konstruksi. Tujuan penelitian ini mengetahui dan menganalisa pengaruh ketahanan korosi serta perubahan struktur mikro pada pengelasan dengan metode pendinginan celup air, kain basah dan udara. Pada hasil dilakukan pengujian korosi dengan cara dicelup dalam media korosif NaCl 3,5% selama 6 hari didapatkan ketahanan korosi tertinggi pada baja karbon dengan media pendinginan celup dengan nilai 1,732 mpy, kain basah 1,892 mpy sedangkan laju korosi tertinggi pada pengelasan dengan media pendinginan udara sebesar 2,166 mpy. Pada struktur mikro yang terbentuk pada daerah HAZ merupakan ferrit dan perit dan sedikit martensit. Daerah pada HAZ merupakan daerah yang ketahanan korosinya rendah.

Kata Kunci : *pendinginan, baja karbon, laju korosi.*

BAB I
PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Bahan yang mempunyai sifat mampu las yang baik diantaranya adalah baja karbon rendah yang biasa digunakan untuk pelat-pelat tipis dan konstruksi umum (Wiryosumarto, 2008). Struktur baja sangat ditentukan pada kandungan karbonnya terutama pada baja karbon rendah yang di dominasi oleh ferit dan diikuti leh sedikit ferit dengan kandungan karbon kurang dari 0,3%. Baja karbon rendah memiliki ketangguhan dan keuletan tinggi akan tetapi memiliki sifat kekerasan dan keausan yang rendah. Sifat mekanik dan sifat fisik pada baja karbon rendah dapat ditingkatkan dengan proses penambahan unsur paduan dan perlakuan panas. Perlakuan panas sangat berpengaruh terhadap nilai kekerasan ataupun laju korosi material tersebut, saat baja dipanaskan sampai titik temperatur austenit kemudian didinginkan secara mendadak / *quenching* agar terjadi pembentukan martensit dan diperoleh kekerasan yang tinggi.

Pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang terjadi dalam keadaan lumer atau cair, dengan cara penyambungan antara dua material logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) merupakan salah satu cara yang biasa digunakan untuk pengelasan baja karbon rendah. pengelasan Salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam tambahan dan menghasilkan sambungan yang kontinu (Wiryosumarto dan Okomura, 1996). Kualitas sambungan las dapat dikarakterisasi dengan pengujian tarik, fatik, kekerasan *vickers*, dan struktur mikro.

Selain mempengaruhi sifat fisis dan mekanis perlakuan panas juga mempengaruhi terhadap laju korosi dimana semakin tinggi temperatur yang diberikan maka akan besar juga laju korosinya, secara umum laju korosi akan menjadi lebih cepat terjadi dengan pengaruh air hujan, kelembaban udara, lumpur, gesekan atau benturan dengan benda lain menyebabkan lapisan pelindung logam

terkelupas dan rusaknya pelindung logam akan mempercepat proses korosi, sering kali spesimen mengalami *cracking*, distorsi, dan ketidakseragaman kekerasan yang diakibatkan oleh tidak seragamnya temperatur larutan pendingin. Media pendingin ini akan mempengaruhi sifat korosif pada material, disisi lain baja karbon rendah memiliki kekurangan terutama terhadap ketahanan korosi terutama jika pengaplikasian di tempat yang bersifat korosif.

Korosi merupakan reaksi elektrokimia yang bersifat alamiah dan berlangsung spontan, tidak dapat dicegah atau dihentikan Korosi hanya bisa dikendalikan atau diperlambat. Efek akan terkonsentrasi dalam skala kecil yang semula membentuk lubang kecil, kemudian akan meluas sehingga mampu menimbulkan kegagalan ditambah media korosif seperti air laut akan memperbesar pertumbuhan retakan akibat lelah. Korosi juga dapat terjadi lebih cepat untuk area yang mengalami perubahan *microstructural* akibat proses pengelasan.

Operator las terkadang melakukan pendinginan pada saat proses pengelasan. Pendinginan yang dilakukan dengan cara pencelupan, memberikan kain basah dan pendinginan normal, laju pendinginan yang lambat akan menghasilkan struktur semakin rapat sehingga kekerasan dan nilai kekuatan tariknya menurun. Sehingga penelitian ini diarahkan untuk mengetahui laju korosi pada baja karbon rendah dengan proses pengelasan yang dilakukan proses pendinginan celup, kain basah serta pendinginan normal.

I.2 Rumusan Masalah

Pengelasan merupakan bagian penting dalam penyambung antara material logam. Karena banyaknya mesin industri yang terdapat pada tempat yang mengandung air maupun mengandung kadar sifat asam yang dapat mempengaruhi kekuatan pengelasan terutama di tempat seperti pelabuhan ataupun tempat seperti pesisir pantai. Sehingga dalam penelitian ini rumusan masalah adalah :

1. Bagaimana pengaruh ketahanan korosi pada hasil pengelasan yang didinginkan dengan cara dicelup, diberikan kain basah dan pendinginan udara?
2. Bagaimana pengaruh fisik karena proses korosi pada hasil pengelasan yang didinginkan dengan cara dicelup, diberikan kain basah dan pendinginan udara?

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin diperoleh penulis dengan mengajukan judul tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui dan menganalisa pengaruh ketahanan korosi pada hasil pengelasan yang didinginkan dengan cara dicelup, diberikan kain basah dan pendinginan udara?
2. Mengetahui dan menganalisa struktur mikro pada pengelasan yang didinginkan dengan cara dicelup diberikan kain basah dan pendinginan udara?

I.4 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan permasalah dalam penelitian, maka perlu adanya pembatasan masalah pada tugas akhir ini :

1. Bahan yang digunakan dalam pengujian adalah material plat baja karbon redah.
2. Larutan pengkorosian natrium klorida (NaCI 3,5%).
3. Metode pengujian korosi yang digunakan pengujian celup dengan kondisi air diam.
4. Menggunakan las SMAW dengan arus 85 Ampere dengan elektroda E6013.

I.5 Manfaat penelitian

Manfaat penelitian berdasarkan tujuan penelitian :

1. Mendapatkan hasil penelitian pengaruh laju korosi pada hasil lasan baja karbon rendah setelah mengalami proses pendinginan dengan cara dicelup, diberikan kain basah dan pendinginan udara.
2. Hasil penelitian ini diharapkan bagi mahasiswa dapat dijadikan suatu tolak ukur untuk penerapan metode pendinginan pada hasil lasan.

BAB II
DASAR TEORI

II. 1 Tinjauan Pustaka

Yuono, L.D. dan Dharma, U.S. (2017) melakukan penelitian pengaruh pendinginan cepat terhadap laju korosi Hasil pengelasan baja aisi 1045. dari data dan perhitungan laju korosi menunjukkan bahwa nilai laju korosi paling tinggi adalah pengelasan dengan media pendingin udara yaitu senilai 31508.1 mpy atau 31.5081 inch/tahun, nilai laju korosi terendah adalah pengelasan dengan media pendingin air yaitu 10228.71 mpy atau 10.22871 inch/tahun. Hal ini mengindikasikan bahwa PWHT (*Post Welding Heat Threatment*) memiliki pengaruh besar dalam usaha penghambatan laju korosi.

Gunawan (2017) melakukan kajian pengaruh temperatur pada proses perlakuan panas baja tahan karat martensitik AISI 431 terhadap laju korosi dan struktur mikro. *Engineering and sains journal*. Suatu permukaan logam yang berinteraksi langsung dengan lingkungan korosif dengan adanya keadaan ketidakseragaman akan terjadi perbedaan potensial efektif lokal, sehubunan dengan itu makan akan terjadi korosi pada daerah yang lebih anodic daripada permukaan lain disebabkan oleh perlakuan yang dilakukan pada material tersebut, misalnya adalah proses heat treatment. Dalam penelitian ini obyek yang diteliti adalah baja tahan karat martensitic stainless steel AISI dengan kadar krom 17%, kadar karbon 0,20%, kadar nikel 1,6%. Pada penelitian kali ini akan dilakukan suatu penelitian terhadap pengaruh variasi temperatur pemanasan pada proses heat treatment terhadap laju korosi. Proses heat treatment disini adalah menggunakan temperatur pemanasan : 750ºC, 850ºC, 950ºC, ditahan 30 menit dan di quenching dengan media pendingin air. Dari proses heat treatment tersebut akan dilakukan pengujian kekerasan strukturmikro dan uji laju korosi, dimana metode yang digunakan adalah metode immerse (media korosif HCL). Dari hasil pengujian tersebut di atas didapatkan hasil sebagai berikut: baja tanpa laku panas mengalami laju korosi sebesar 51,8 mpy, untuk baja mengalami laku panas 750ºC dengan holding time 30

menit. Laju korosi specimen 1 adalah 50 mpy, specimen 2 adalah 30 mpy, specimen 3 adalah 76 mpy, specimen 4 adalah 68 mpy, specimen 5 adalah 67 mpy. Untuk laku panas 850ºC, laju korosi specimen 1 adalah 43 mpy, specimen 2 adalah 61 mpy, specimen 3 adalah 46 mpy, specimen 4 adalah 29 mpy, specimen 5 adalah 27 mpy. Untuk laku panas 950ºC, laju korosi specimen 1 adalah 82 mpy, specimen 2 adalah 84 mpy, specimen 3 adalah 78 mpy, specimen 4 adalah 75 mpy, specimen 5 adalah 77 mpy.

Nugroho dkk., (2019) melakukan penelitian pengaruh temperatur dan media pendingin pada proses *heat treatment* baja AISI 1045 terhadap kekerasan dan laju korosi dari data dan hasil laju korosi hasilnya material mengalami perubahan kekerasan dan laju korosi. Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada media pendingin air mineral yaitu 58,2 HRC pada variasi temperatur 8500C dan nilai kekerasan tertinggi media pendingin oli adalah 33,4 HRC pada variasi temperatur 9500C. Laju korosi tertinggi media pendingin air mineral adalah 3,998 ipy pada variasi temperatur 9500C, dan 4,086 ipy pada media pendingin oli dengan variasi temperatur 9500C.

Putra (2017) melakukan penelitian pengaruh proses pengelasan smaw *(Shielded Metal Arc Welding)* terhadap laju korosi material baja ST 37 Pada daerah HAZ dan base metal dengan variasi ampere 120,160,200 menggunakan metode perendaman larutan Nacl selama 48 jam. Dari data yang didapat maka dihasilkan menunjukan bahwa semakin besar arus yang digunakan maka semakin kecil nilai laju korosi. Pada spesimen daerah HAZ 120 A laju korosi sebesar 0,7700 mm/Y dengan laju korosi paling kecil pada spesimen daerah HAZ 200A sebesar 0,6513 mm/Y.

Deddy (2001) sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai studi eksperimen laju korosi plat *body automobiles* pada larutan NaCl 5% dengan *cyclic method SAE J2334*. Hasil yang didapatkan pada *cyclic wet-dry* pada specimen 5 C sebesar 3,25 MPY dan paling rendah pada specimen M sebesar 1,32 MPY. Laju

korosi uji *immersion* pada 240 jam specimen C 1,77 MPY dan laju korosi paling rendah spesimen M sebesar 1,15 MPY.

Jarot Wijayanto (2008) melakukan penelitian studi korosi dan sifat mekanis sambungan las busur rendam untuk konstruksi baja melalui perlakuan panas dilakukan guna mempelajari efektifitas penggunaan *post-weld heat Treatment* (PWHT) dengan nyala api oksi aseteline dalam pengelasan las busur rendam untuk mengurangi terjadinya tegangan sisa yang menyebabkan ketahanan korosi menurun. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pembebasan tegangan sisa pada hasil lasan busur rendam melalui *post weld heat treatment* mengunakan panas nyala oksi asetelin dapat menurunkan rapat arus sampai dengan 43,88 μA/cm2 pada spesemen T300 sehingga mempengaruhi laju korosi yang terjadi pada air laut konsentrasi 3,3 % NaCl. Laju korosi terendah terjadi pada sepesimen T300 yaitu sebesar 0.311 mm/year dibandingkan dengan spesimen TT yang memiliki nilai laju korosi 0,377 mm/year.

Supriyanto dan Agus (2007) melakukan penelitian yang dilakukan ini adalah untuk mengetahui adanya pengaruh konsentrasi larutan NaCl 2% dan 3.5% terhadap laju korosi pada baja karbon rendah. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah dan larutan yang digunakan adalah larutan NaCl. Pengujian dilakukan dengan cara merendam 6 buah specimen yang masing masing 3 specimen dimasukkan dalam larutan NaCl dengan konsentrasi 2%, 3.5%, selama 14 hari atau 336 jam. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian komposisi kimia dan pengujian struktur mikro, dan laju korosi. Dari hasil pengujian komposisi kimia diperoleh hasil bahwa baja karbon yang digunakan mempunyai kadar karbon 0.055%. Sedangkan untuk pengujian laju korosi pada perendaman 2% didapatkan hasil sebesar 39.5 mm/th dan pada perendaman 3.5% didapatkan hasil 40.4 mm/th. Dengan kesimpulan bahwa semakin besar konsentrasi larutan NaCl dalam perendaman maka semakin besar pula laju korosi, dan sebaliknya semakin kecil konsentrasi larutan NaCl dalam perendaman maka semakin kecil pula laju korosinya.

Harsisto, Nursalam melakukan penelitian bahwa karakteristik korosi baja karbon ST 37 dengan las SMAW dalam lingkungan NaCl. Baja karbon ST 37 banyak digunakan untuk konstruksi dan sering dilakukan penyambungan dengan las jenis SMAW dengan elektroda las tipe E.6013. Dengan adanya pengelasan tersebut dimungkinkan berpengaruh pada laju korosi secara menyeluruh. Pada penelitian ini, di maksudkan untuk mempelajari karakteristik korosi baja karbon ST 37 dan korosi baja karbon tersebut dengan sambungan las yang dicelup dalam larutan 0,035%; 0,35% dan 3,5% berat NaCI pada suhu kamar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju korosi pada logam induk dan logam induk yang dilas berturut turut sebesar 5,149 dan 8,529 mpy. Sedangkan dari hubungan laju korosi dengan potensial korosi alami menunjukkan bahwa semakin rendah potensial korosi alami akan semakin meningkatkan laju korosi. Hal ini terlihat pada baja ST 37 dengan potensial korosi alami -0,699 (Volt vs Ag/AgCl jenuh) dengan laju korosi sebesar 5,149 mpy, sedangkan pada potensial korosi alami -0,7403 (Volt vs Ag/ AgCl jenuh) laju korosinya sebesar 8,529 mpy.

II.2 Pengelasan

Menurut *Deustche Industry Normen* (DIN), pengelasan merupakan ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang terjadi dalam keadaan lumer atau cair, dengan kata lain pengelasan adalah penyambungan dari dua logam mengguanakan energi panas. Pengelasan termasuk teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam tambahan dan menghasilkan sambungan yang kontinu (Wiryosumarto, 1996).

Sebagian besar logam akan berkarat (korosi) ketika bersentuan dengan udara atau uap air, sebagai contoh adalah logam besi mempunyai karat, dan alumunium mempunyai lapisan putih di permukaannya. Pemanasan dapat mempercepat proses korosi tersebut. Jika karat, kotoran, atau material lain ikut tercampur ke dalam cairan logam lasan dapat menyebabkan kekroposan deposit logam lasan yang terbentuk sehingga menyebabkan cacat pada sambungan las.

Berdasarkan jenis-jenis pengelasan dapat dibagai sebagai pengelasan cair dan pengelasan padat.

II.2.1 Las Busur Listrik *(Electric Arc Welding)*

Berikut adalah berbagai jenis pengelasan las busur listrik :

1. Las Flash Butt *(Flash Butt Welding)*

Flash butt merupakan metode pengelasan yang dilakukan dengan menggabungkan antara loncatan elektron dengan tekanan, di mana benda kerja yang dilas dipanasi dengan energi loncatan electron kemudian ditekan dengan alat sehingga bahan yang dilas menyatu dengan baik.

2. Las Elektroda Terumpan *(Consumable Electrode)*

Consumable electrode (elektroda terumpan) adalah pengelasan dimana elektroda las juga berfungsi sebagai bahan tambah. Las elektroda terumpan terdiri dari:

a. Las MIG *(Metal Inert Gas)*

Las MIG atau las busur listrik adalah pengelasan dimana panas yang ditimbulkan oleh busur listrik antara ujung elektroda dan bahan dasar, karena adanya arus listrik dan menggunakan elektrodanya berupa gulungan kawat yang berbentuk rol yang gerakannya diatur oleh pasangan roda gigi yang digerakkan oleh motor listrik.

b. Las Listrik (*Shielded Metal Arc Welding/SMAW*)

SMAW (Shielded Metal Arc Welding) adalah proses pengelasan dengan mencairkan material dasar yang menggunakan panas dari listrik melalui ujung elektroda dengan pelindung berupa fluks atau slag yang ikut mencair ketika pengelasan.

c. Las Busur Terpendam (*Submerged Arc Welding/SAW*)

Prinsip dasar pengelasan ini adalah menggunakan arus listrik untuk menghasilkan busur *(Arc)* sehingga dapat melelehkan kawat pengisi lasan *(filler wire)*, dalam pengelasan SAW ini cairan logam lasan terendam dalam fluks yang melindunginya dari kontaminasi udara, yang kemudian fluks tersebut akan m

embentuk terak las (slag) yang cukup kuat untuk melindungi logam lasan hingga membeku.

3. Las Elektroda Tak Terumpan *(Non Consumable Electrode)*

Non consumable electrode adalah pengelasan dengan menggunakan elektroda, di mana elektroda tersebut tidak berfungsi sebagai bahan tambah. Elektroda hanya berfungsi sebagai pembangkit nyala listrik.

4. Las Tahanan *(Resistance Welding)*

Pada *resistance welding* dibagi berbagai jenis pengelasan sebagai berikut :

a. Las Titik *(Spot Welding)*

Pengelasan dilakukan dengan mengaliri benda kerja dengan arus listrik melalui elektroda, karena terjadi hambatan diantara kedua bahan yang disambung, maka timbul panas yang dapat melelehkan permukaan bahan dan dengan tekanan akan terjadi sambungan.

b. Las Kelim *(Seam Welding)*

Ditinjau dari prinsip kerjanya, las kelim sama dengan las titik, yang berbeda adalah bentuk elektrodanya. Elektroda las kelim berbentuk silinder.

c. Las Gas atau Las Karbit *(Oxy-acetylene welding / OAW)*

Pengelasan dengan oksi - asetilin adalah proses pengelasan secara manual dengan pemanasan permukaan logam yang akan dilas atau disambung sampai mencair oleh nyala gas asetilin melalui pembakaran C2H2 dengan gas O2 dengan atau tanpa logam pengisi.

d. Las Sinar Laser

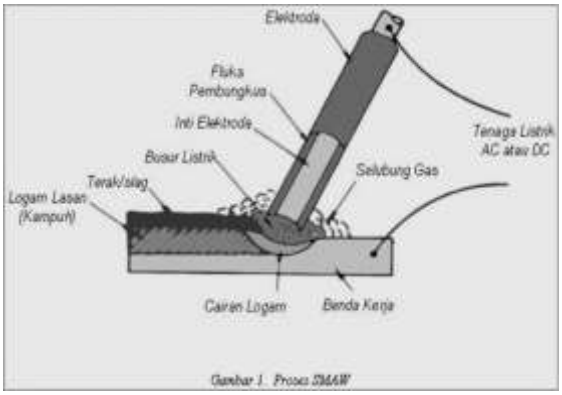
Pengelasan sinar laser adalah pengelasan yang memanfaaatkan gelombang cahaya sinar laser yang dialirkan lurus kedepan tanpa penyebaran terhadap benda kerja sehingga menghasilkan panas dan melelehkan logam yang akan dilas.

e. Las Sinar Elektron

Prinsip kerjanya adalah adanya energi panas didapat dari energi sebuah elektron yang di tumbukkan pada benda kerja, elektron yang dipancarkan oleh katoda ke anoda difokuskan oleh lensa elektrik ke sistim defleksi. Sistim defleksi meneruskan sinar elektron yang sudah fokus ke benda kerja. Sinar yang sudah fokus tersebut digunakan untuk melakukan pengelasan benda kerja.

II.3 Las Busur Elektroda Terbungkus (*Shielded Metal Arc Welding*)

SMAW merupakan proses pengelasan menggunakan busur manual, panas yang dihasilkan pada pengelasan SMAW terjadi antara busur listrik dan elektroda terumpan berpelindung flux dengan benda kerja. Pada pembungkus elektroda yang terbakar akan menghasilkan gas pelindung yang akan melindungi ujung elektroda, busur, cairan logam las dan daerah – daerah yang berdekatan dengan benda kerja terhadap lapisan atsmosfer. Perlindungan tambahan juga diberikan pada cairan logam lasan yang berbentuk cairan flux atau slag yang terdapat pada elektoda tersebut. Filler metal atau logam tambahan yang berada pada inti kawat elektroda berasal dari serbuk besi yang dicampur dengan lapisan pembungkus elektroda. Pada Gambar II.1 memperlihatkan prinsip kerja dasar pengelasan SMAW.



Gambar II. 1 Las Busur SMAW
(Wiryosumarto, 2004)

1. Proses kerja SMAW

Ketika ujung elektroda didekatkan pada logam induk akan terjadi busur api listrik yang akan menghasilkan panas. Panas inilah yang mencairkan ujung elektroda (kawat las) dan benda kerja secara setempat. Dengan adanya pencairan ini maka kampuh las akan terisi oleh logam cair yang berasal dari elektroda dan logam induk, terbentuklah kawah cair, lalu membeku maka terjadilah logam lasan (*weldment*) dan terak (*slag*).

Dalam pengelasan SMAW ini juga terdapat berbagai keuntungan dan kekurangan yaitu :

A. Keuntungan SMAW

1. Dapat di pakai dimana saja
2. Dapat mengelas berbagai macam tipe dari meterial
3. Set-up yang cepat dan sangat mudah untuk diatur
4. Dapat dipakai mengelas semua posisi
5. Elektroda mudah di dapat dalam banyak ukuran dan diameter.

B. Kerugian SMAW

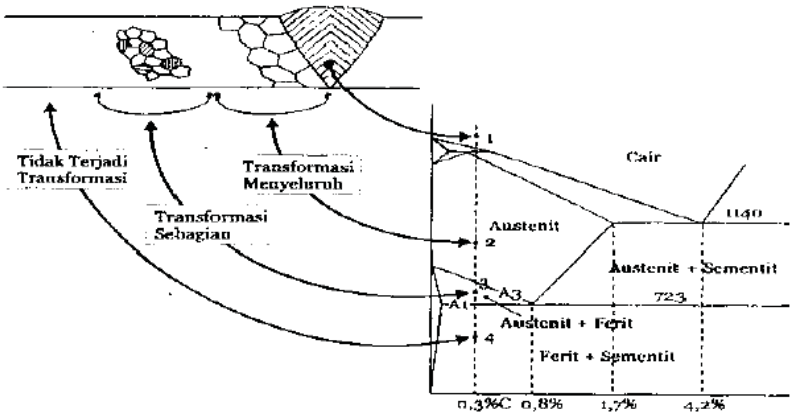
1. Pengelasan terbatas hanya sampai sepanjang elektroda dan harus melakukan penyambungan
2. Setiap akan melakukan pengelasan berikutnya slag harus dibersihkan
3. Tidak dapat digunakan untuk mengelas bahan baja non-ferrous
4. Mudah terjadi oksidasi akibat perlindungan logam lair hanya busur las dari fluks
5. Diameter elektroda tergantung dari plat dan posisi pengelasan.

II.4 Siklus Termal lasan

Setiap titik dari daerah hasil pada lasan mengalami tingkat pemanasan berbeda mengakibatkan proses laju pendinginan tiap daerah pengelasan juga berbeda dan struktur mikro pada daerah masing-masing memliki karakteristik berbeda tergantung pada laju pendinginan yang dialami. Daerah lasan terdiri dari atas 3 bagian yaitu daerah pengaruh panas atau HAZ (*Heat Affected Zone)*, logam lasan, dan logam induk yang tidak terpengaruh panas.

1. Daerah pengaruh panas HAZ

Merupakan logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat (Wiryosumarto, 2000). Ada tiga titik berbeda yang terdapat di daerah *HAZ* yang dapat dilhat pada gambar II.2 Transformasi fasa pada logam hasil pengelasan.



Gambar II. 2 Transformasi fasa pada logam hasil pengelasan
(Sonawan dan Suratman, 2004)

2. Logam lasan

Logam lasan merupakan bagian logam yang saat pengelasan mencair dan kemudian membeku. Logam yang berada pada pengelasan mengalami siklus termal yaitu pencairan, kemudian pembekuan yang menyebabkan terjadinya perubahan struktur dari material.

3. Logam induk

Logam induk merupakan bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan sifat.

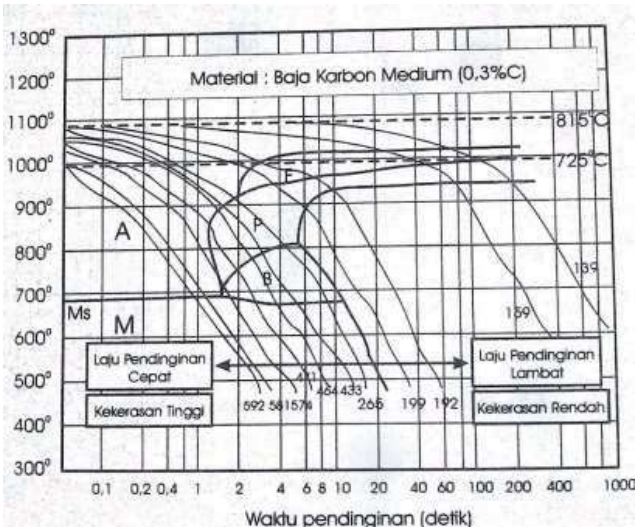
Titik satu dan dua menunjukkan temperatur pemanasan mencapai daerah berfasa *austenit*, daerah ini disebut dengan daerah transformasi menyeluruh yang artinya struktur mikro baja mula-mula *ferit* + *perlit* kemudian bertransformasi menjadi *austenit* 100 %. Titik tiga menunjukkan temperatur pemanasan mencapai daerah berfasa *ferit* dan *austenit*, daerah ini disebut denagn daerah transformasi sebagian yang artinya struktur mikro baja mula-mula *ferit* + *perlit* berubah menjadi *ferit* + *austenite* (Sonawan dan Suratman, 2004).

II.5 Pendinginan (*cooling*)

Proses pendinginan dalam proses pengelas merupakan proses pengerasan sifat logam. kekerasan baja setelah dicelup dingin meningkat hampir berbanding

lurus dengan kadar karbon sampai 0,6 % selanjutnya peningkatan gradient lebih kecil kalau kadar karbon meningkat (Surdja dan Saito, 1999).

Sifat keras baja dapat diperoleh dari temperatur tranformasi, waktu, dan pendinginan kontinu. Jika garis pendinginan makin ke kanan waktu atau waktu yang singkat akan menghasilkan laju pendinginan yang cepat dan akan menghasilkan struktur yang semakin keras. Sebaliknya, jika garis pendinginan makin ke kanan atau waktu yang lama akan menghasilkan laju pendinginan yang lambat akan menghasilkan struktur yang semakin lunak.



Gambar II. 3 Garis-garis pendinginan diagram *Continuous Cooling Tranformation* (Sonawan dan Saito, 2004)

II.6 Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam sturktur baja kurang dari 0,3% C. Baja karbon rendah ini memiliki ketangguhan dan keuletan tinggi akan tetapi memiliki sifat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah.

Tabel II. 1 Klasifikasi baja karbon (Wiryosumarto dan Okumura, 1991)

Jenis	kelas	Kadar karbon (%)	Kekuatan luluh (kg/mm^2)	Kekuatan tarik	perpanjangan	Kekerasan brinell	penggunaan
Baja karbon rendah	Baja lunak khusus	0.08	18 - 28	32-36	40 - 30	95 - 100	Pagar Tipis
	Baja sangat lunak	0,08 - 0,12	20 - 29	36 - 42	40 - 30	80 - 120	Batang, Kawat
	Baja lunak	0,12 - 0,20	22 - 30	38 - 48	36 - 24	100 – 130	Konstruksi Umum
	Baja setengah lunak	0,20 - 0,30	24 – 36	44 - 45	32 - 22	112 - 145	
Baja karbon sedang	Baja setengah keras	0.30 - 0,40	30 – 40	50 - 60	30 - 17	140 - 170	Alat – Alat Mesin
Baja karbon tinggi	Baja keras	0,04 - 0,50	34 – 46	58 - 70	26 - 14	160 - 200	Perkakas.
	Baja sangat keras	0,50 – 0,80	36 – 47	65 - 100	20 - 11	180 - 235	Rel, Pegas, dan Piano.

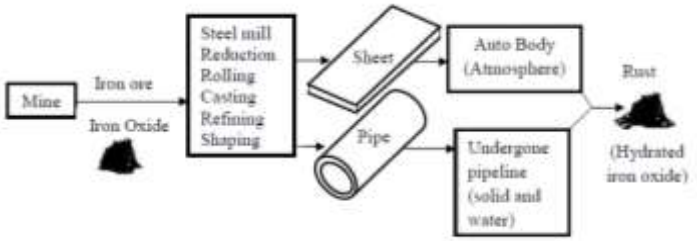
II.7 Korosi

Definisi korosi adalah proses degradasi / deteorisasi / perusakan material yang terjadi disebabkan oleh lingkungan sekelilingnya Jadi korosi merupakan sistem termodinamika logam dengan lingkungan (air, udara, tanah) yang berusaha mencapai keseimbangan. Sistem ini dikategorikan setimbang bila logam telah membentuk oksida atau senyawa kimia lain yang lebih stabil.

Adapun proses korosi yang terjadi, di samping akibat reaksi kimia biasa, maka yang lebih umum adalah proses elektrokimia. Yang dimaksud dengan lingkungannya dapat berupa udara dengan sinar matahari, embun, air tawar, air laut, air danau, air sungai dan tanah.

Korosi dapat berjalan secara cepat ataupun lambat tergantung dari material, temperatur, lingkungan dan sebagainya. Dalam dunia teknik, korosi material yang sering disinggung adalah korosi yang terjadi pada logam. Korosi tidak mungkin sepenuhnya dapat dicegah karena memang merupakan proses alamiah bahwa

semua logam akan kembali ke sifat asalnya. Asal dari tanah kembali ke tanah, asal dari bijih besi kembali ke oksida besi. Walaupun demikian korosi dapat dikendalikan, agar pengendalian korosi dilakukan dengan maksimal harus dimulai dengan perancangan, pengumpulan data lingkungan, proses, peralatan yang dipakai dan cara metode pemeliharaan yang akan dilaksanakan.



Gambar II. 4 korosi (Fontana, 1978)

Laju Korosi Pada proses elektrokimia, bahwa proses korosi yang terjadi pada material logam disebabkan karena logam tersebut mempunyai komposisi kimia yang tidak bersifat homogen. Dalam kenyataan material logam sangat sulit untuk dibuat betul-betul homogen. Yang mengakibatkan akan ada perbedaan potensial yang dapat menimbulkan korosi galvanis bila ada elektrolit (uap air dan udara). Bagian yang berpotensial lebih rendah kemudian akan menjadi anoda, sedangkan yang berpotensial lebih tinggi akan menjadi katoda.

Hampir semua korosi adalah suatu reaksi elektrokimia, yang semua dapat mempengaruhi kecepatan suatu reaksi kimia atau jumlah arus yang mengalir dapat mempengaruhi laju korosi. Untuk menerapkan bagian elektrik dari sel korosi dapat menggunakan hukum Ohm.

Laju korosi berbanding lurus dengan sejumlah arus yang mengalir pada sel korosi elektrokimia. Jika arus dapat diukur, suatu kalkulasi yang tepat dari kehilangan metal dapat ditentukan. Ini berarti bahwa suatu pengukuran dalam ampere atau milliampere secara matematis dihitung dalam kilogram (pound) per tahun. Suatu Amp tahun adalah satu Ampere yang mengalir selama periode satu tahun. Logam yang berbeda memiliki laju korosi yang berbeda. Jika diketahui penurunan massa dari suatu material yang terkorosi maka laju korosi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$CR = \frac{K.W}{\rho.A.t} \text{ (mpy)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(II-1)}$$

(J.Pattireuw, 2013)

Dimana :

W = Kehilangan berat

K = konstanta

A = Luas permukaan terkorosi

t = Waktu korosi

ρ = massa jenis logam (g/cm^3)

Laju korosi diekspresikan sebagai massa yang hilang persatuan luas, dimana dianggap merata dalam satuan luas tersebut. Laju korosi juga diekspresikan sebagai kedalaman penetrasi korosi ke dalam logam induk. Konversi laju korosi kesatuan yang lain:

Tabel II. 2 Konstanta perhitungan laju korosi berdasarkan satuan

Satuan laju korosi	konstanta
mpy	$3,45 \times 10^6$
ipy	$3,45 \times 10^3$
Mm/y	$8,76 \times 10^4$
$\mu m/y$	$8,76 \times 10^7$

Tabel II. 3 konversi satuan (Bunga, 2008)

	mA cm^{-2}	mm $years^{-1}$	mpy	g m^{-2} day^{-1}
mA cm^{-2}	1	11,6	456	249
mm $years^{-1}$	0,0863	1	39,4	21,6
mpy	0,00219	0,0254	1	0,547
g m^{-2} day^{-1}	0,00401	0,0463	1,83	1

Tabel II. 4 Distribusi kualitas ketahanan korosi suatu material (Fontana, 1986)

Relative corrosion resistance	Mpy	Mm/yr	µm/yr	nm/yr	pm/s

Outstanding	< 1	< 0,02	< 25	< 2	< 1
Excellent	1 – 5	0,02 – 0,1	25 – 100	2 – 10	1 – 5
Good	5 – 20	0,1 – 0,5	100 – 500	10 – 50	20 – 50
Fair	20 – 50	0,5 – 1	500 – 1000	20 – 150	20 – 50
Poor	50 – 200	1 – 5	1000 – 5000	150 – 500	50 – 200
unacceptable	200+	5+	5000+	500+	200+

Densitas arus korosi *(Corrosion current density)* adalah ukuran kerapatan arus korosi suatu benda yang dinyatakan dalam miliAmpere persatuan luas. Densitas arus korosi dihitung dengan menggunakan rumus:

$$I_{corr} = \frac{(W_0 - W_c).F}{\pi dLWt} \quad \text{.....(II-2)}$$

(J.P. Broomfield, 2007)

Dimana:

Icorr = Densitas arus korosi (mA/cm2)

Wo = berat sebelum korosi (gr)

Wc = berat setelah korosi (gr)

F = konstanta Faraday's (96487 Amp-sec)

d = diameter baja (mm)

L = panjang baja tulangan yang terendam (mm)

W = berat equivalent baja, diambil dari rasio berat atom besi (27925 gr)

t = waktu terhadap korosi (sec)

Tingkatan terhadap korosi juga dinyatakan dalam persentase kehilangan berat *(ρ)*, dapat dihitung dengan menggunakan rumus: (Bunga, 2008)

$$\rho = \frac{(W_0 - W_c)}{W_o} x100 \quad \text{.....(II-3)}$$

(J.P. Broomfield, 2007)

Karat per satuan luas permukaan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$M_{ac} = \frac{(W_0 - W_c)}{\pi dL} x100$.....(II-4)

(J.P. Broomfield, 2007)

Dimana:

M_{ac}= Massa aktual dari karat per luas area permukaan (gr/mm2).

Wo = berat tulangan sebelum korosi (gr)

Wc = berat tulangan setelah korosi (gr)

1. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

Faktor-faktor yang mempengaruhi korosi terkadang diinginkan untuk melakukan perekayasaan diproses industri. Berikut ini adalah faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi laju korosi suatu material:

1. Polarisasi

Suatu reaksi elektrokimia dikatakan terpolarisasi apabila terjadi proses perlambatan dari laju reaksi semula. Polarisasi bertindak sebagai pelapis tambahan, dan mempengaruhi tingkat pH dan konsentrasi ion pada elektrolit. Kecepatan pada reaksi elektrokimia terbatas oleh bermacam macam faktor fisis dan kimia. Oleh karena itu reaksi elektrokimia dapat dikatakan sebagai polarisasi atau penurunan yang disebabkan oleh faktor lingkungan. Polarisasi dapat dibagi menjadi dua jenis yang berbeda yaitu akitifasi polarisasi dan konsentrasi polarisasi.

2. Pasivasi

Pada dasarnya, pasivitas adalah lepasnya suatu unsur akibat reaksi kimia yang dialami oleh beberapa logam dan paduan pada suatu kondisi lingkungan khusus. Logam dan paduan yang mengalami pasivitas diantaranya besi, nikel, silicon, chromium, titanium dan paduan-paduannya. Observasi juga telah dilakukan untuk mengetahui efek pasivitas pada beberapa logam, diantaranya *zinc*, *cadmium*, *tin* dan *thorium*, Pasivitas sulit untuk didefinisikan, karena pasivitas hanya dapat digambarkan secara kuantitatif dimana karakteristik suatu logam akan mengalami pengaruh yang luar biasa akibat pasiviatas.

3. Oksigen

Adanya oksigen yang terlarut akan menyebabkan korosi pada metal seperti laju korosi pada *mild stell alloys* akan bertambah dengan meningkatnya kandungan oksigen. Kelarutan oksigen dalam air merupakan fungsi dari tekanan, temperatur, dan kandungan klorida. Untuk tekanan 1 atm dan temperatur kamar, kelarutan oksigen adalah 10 ppm dan kelarutannya akan berkurang dengan bertambahnya temperatur dan konsentrasi garam. Sedangkan kandungan oksigen dalam kandungan minyak-air yang dapat menghambat timbulnya korosi adalah 0,05 ppm atau kurang. Reaksi korosi secara umum pada besi karena adanya kelarutan oksigen berikut :

Reaksi anoda : Fe → Fe2- + 2e ……..……..(II-5)

Reaksi katoda : O_2 *(g)* + $2H_2O$*(l)* + 4e → 4OH *(aq)*……...….(II-6)

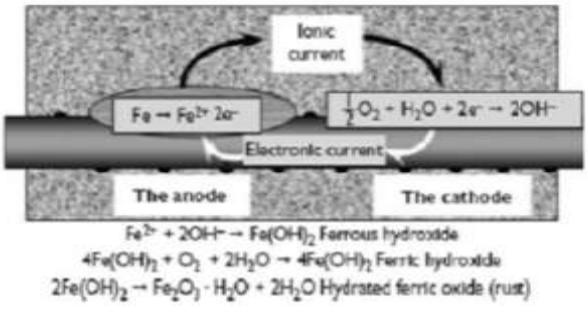
(J.P. Broomfield, 2007)

Dua buah elektron (2e-) yang dihasilkan pada reaksi anodic haruslah di konsumsi di tempat lain pada permukaan baja untuk menjaga kenetralan elektrik. Berikut ini adalah reaksi yang mengkonsumsi air dan oksigen: (Fontana, 1978)

$\frac{1}{2}o_{2(g)} + h_2o_{(i)} + 2_{e^-} \rightarrow 2OH_{(i)}$……...……(II-7)

(J.P. Broomfield, 2007)

Reaksi anodic (okdasi) dan katodik (reduksi) adalah reaksi-reaksi parsial, yang keduanya harus terjadi secara simultan dan pada tingkat yang sama. Kondisi ini menjadi prinsip dasar korosi, yaitu selama korosi pada metal berlangsung, maka tingkat oksidasi sama dengan tingkat reduksi. Dengan kata lain produksi jumlah elektron dan konsumsi jumlah elektron adalah sama.



Gambar II. 5 Proses korosi pada baja
(J.P. Broomfield, 2007)

Jika besi atau baja hanya terurai dalam air, yaitu ion Fe2+ dalam keadaan larut, retak *(cracking)* dan *spalling* pada beton tidak akan terlihat. Agar korosi terbentuk, harus ada beberapa tahapan reaksi yang terjadi. Reaksi tersebut antara lain: pembentukan *ferrous hydroxide* menjadi *ferric hydroxide* dan kemudian *hydrated ferric oxide* atau korosi:

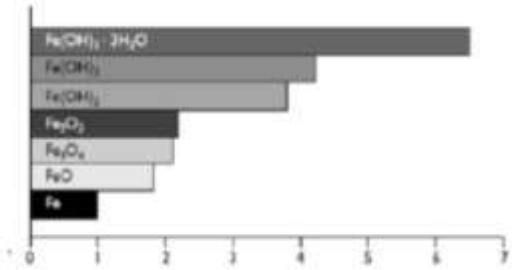
$Fe^{2+} + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2$ *(ferrous hydroxide)*……..……...……(II-8)

$4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3$ *(ferric hydroxide)*…….……(II-9)

$2Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2O_3 . H_2O + 2H_2O$ *(hydrated ferric oxide)*……..…..……..(II-10)

(J.P. Broomfield, 2007)

Oksida besi yang tidak terhidrasi (Fe2O3) memiliki volume sekitar dua kali volume baja yang tergantikan saat dalam keadaan baik. Saat terhidrasi, ia akan mengembang lebih besar dan menjadi keropos. Hal ini berarti bahwa volumenya meningkat pada lapisan antar muka baja adalah 2-10 kali.



Gambar II. 6 Volume relatif besi dan oksidasi

(*Mansfield corrosion, 1981*)

4. Karbondioksida (CO_2)

Jika karbondioksida dilarutkan dalam air maka akan terbentuk asam karbonat (H2CO3) yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas, biasanya bentuk korosinya berupa *pitting* yang secara umum reaksinya adalah:

$CO2 + H2O \rightarrow H2CO3$ ...……...……....……..(II-11)

$Fe + H2CO3 \rightarrow Fe\,CO3 + H2$……...……...……....(II-12)

(J.P. Broomfield, 2007)

5. Kecepatan Angin

Pengaruh kecepatan angin terhadap laju korosi adalah seperti pengaruh penambahan oksigen terhadap laju korosi. Untuk proses korosi yang dikendalikan oleh aktifasi polarisasi maka kecepatan tidak memiliki pengaruh terhadap laju reaksi. Jika proses korosi dikendalikan oleh difusi katodik. Pengaruh ini umumnya terjadi ketika adanya zat pengoksidasi dalam jumlah yang sedikit, seperti halnya oksigen yang terlarut dalam larutan asam atau air.

Beberapa logam memiliki ketahanan korosi pada medium tertentu karena terbentuknya lapisan pelindung yang sangat besar. Ketika material yang terkena sinar matahari dan terdapat angin yang sangat besar maka hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada lapisan pelindung tersebut, sehingga laju korosi meningkat.

6. Pengaruh Temperatur

Kenaikan temperatur pada umumnya dapat menambah laju korosi walaupun kenyatannya kelarutan oksigen berkurang dengan meningkatnya temperatur. Apabila metal pada temperatur yang tidak seragam, maka akan besar kemungkinan terbentuk korosi.

7. Pengaruh pH Terhadap Korosi *Aqueous* Baja

Nilai pH pada air (elektrolit) dapat berbeda dengan pH aktual di permukaan logam tergantung dari reaksi yang terjadi di permukaan. Reduksi oksigen akan menghasilkan ion OH- yang dapat meningkatkan nilai pH, namun di bawah deposit produk korosi nilai pH dapat ditekan. Ketika pH air (elektrolit) moderate (pH = 5), korosi uniform merupakan serangan dominan yang akan semakin meningkat dengan penurunan pH. Pada pH 4 atau < 4 maka lapisan oksida proteksi terlarut dan terekspose di permukaan metal. Korosi akan semakin cepat terjadi karena kadar oksigen terlarut berkurang pada permukaan logam di pH rendah. Kedua reaksi yaitu evolusi hidrogen dan reduksi oksigen menjadi reaksi katodik. Pada peningkatan pH di atas 4, besi oksida terpresipitasi dari larutan ke bentuk deposit. Korosi uniform secara tiba-tiba menurun, namun di bawah deposit mulai terbentuk Fe2O3 di permukaan metal. Reaksi anodiknya adalah sebagai berikut :

Fe + 3H2O Fe(OH)3 + 3H+ + 3e-……..……..(II-13)

$Fe + 2H_2O \rightarrow FeO(OH) + 3H^+ + 3e^-$……..…….(II-14)

$Fe + 3/2H_2O \rightarrow Fe_2O_3 + 3H^+ + 3e^-$……...(II-15)

(J.P. Broomfield, 2007)

Deposit tersebut bersifat sebagai penahan difusi oksigen ke permukaan logam. Pada peningkatan pH, deposit oksida besi berubah dari sedikit bersifat adherent di pH 6 menjadi keras dan kuat pada pH > 8. Mekanisme korosi baja pada HCl yaitu laju korosi tinggi pada semua konsentrasi asam di pH < 3. Adanya ion klorida berfungsi mempercepat laju korosi. Laju korosi meningkat dengan adanya konsentrasi ion hidrogen (penurunan pH).

Mekanisme proses korosi berdasarkan variabel pH untuk baja yang laju korosi meningkat pada pH yang sangat rendah, laju korosi tidak tergantung pH pada range pH netral, laju korosi menurun dengan peningkatan pH, dan akhirnya laju korosi meningkat kembali pada pH yang sama tinggi. Reaksi anodik baja karbon yaitu :

$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$……..……..…….(II-16)

(Jones, 1992)

Persamaan kinetik berhubungan dengan laju korosi. Bahwa pada pH rendah bukan hal sederhana yang berpengaruh terhadap korosi baja karbon. Selain itu, jika terdapat ion tambahan seperti ion Cl- kemungkinan akan meningkatkan terjadinya *localized attack* cotohnya *pitting*, *crevice corrosion* and *Stress Corrosion Cracking* (SCC).

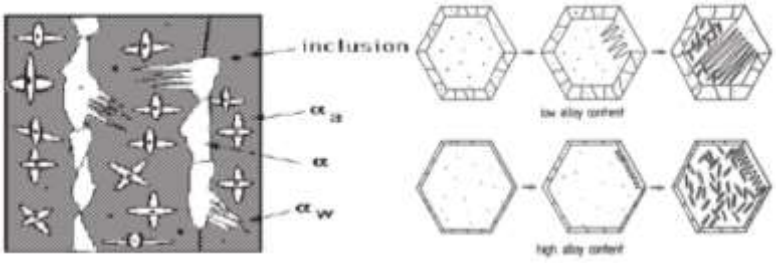
2. Bentuk-Bentuk Korosi

Akan lebih mudah untuk mengklasifikasikan korosi berdasarkan penampilan atau rupa logam yang terserang korosi. Masing-masing bentuk korosi dapat dikenali dengan hanya melakukan pengamatan secara visual. Pada kebanyakan kasus, pengamatan bentuk korosi hanya dengan mata telanjang sudah cukup. Tetapi kadang-kadang pengamatan dengan menggunakan perbesaran juga dibutuhkan. Informasi yang penting untuk solusi dari masalah korosi sering

diperoleh melalui pengamatan yang cermat dari spesimen uji korosi. Beberapa dari delapan bentuk korosi adalah bersifat unik. Delapan bentuk korosi tersebut adalah : *uniform or general attack, galvanic or two metal corrosion, crevice corrosion, pitting, intergranular corrosion, selective leaching or parting, erosion corrosion, and stress corrosion*. Bentuk-bentuk korosi tersebut mencakup hampir semua kegagalan korosi. *Hydrogen damage* adalah bukan bentuk korosi, akan tetapi sering terjadi akibat dari serangan korosi. (Utomo, 2009).

II.8 Korosi pada daerah las

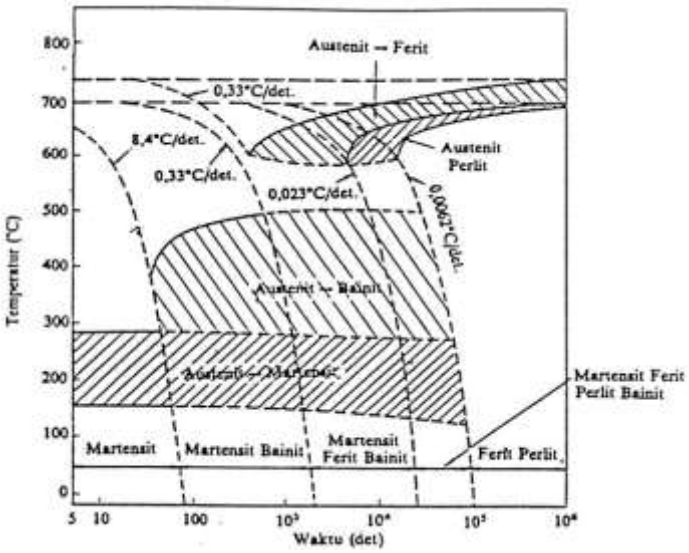
Logam lasan merupakan bagian logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Logam di daerah pengelasan mengalami siklus termal yaitu pencairan kemudian pembekuan yang menyebabkan terjadinya perubahan struktur dari material. Struktur mikro yang mungkin terjadi di logam las adalah ferit batas butir (α) yang terbentuk pertama kali pada transformasi γ menjadi α sepanjang batas butir austenit dari suhu 1000 0C hingga 650 0C, ferit widmanstatten (αw) yang tumbuh pada suhu 750 C hingga 650 0C pada arah ke dalam butir di sepanjang batas butir austenit, ferit asikular (αa) yang biasanya terbentuk pada suhu 650 C di dalam butir dengan orientasi acak, bainit yang merupakan ferit berbentuk pelat dengan Fe3C di antara pelat-pelat tersebut dan martensit yang terbentuk jika tejadi proses pendinginan sangat cepat dan terdapat kandungan C yang cukup. Pembentukan struktur tersebut di atas dapat digambarkan secara skema pada Gambar II.7



(a) (b)

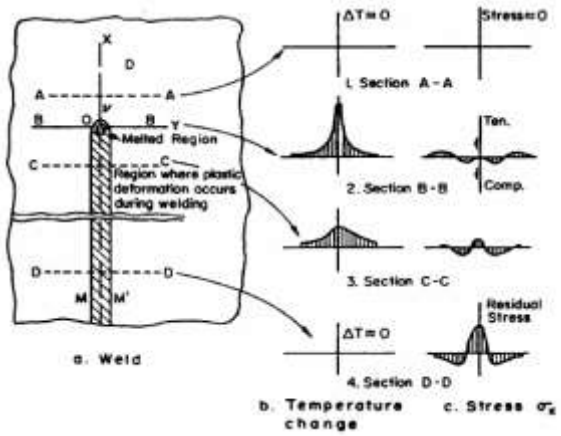
Gambar II. 7 (a) Skema struktur ferit di dalam logam las,
(b) Skema proses pembentukan struktur mikro logam las (Bhadeshia, 2004)

Pembentukan struktur mikro selama proses pendinginan logam las dapat diperkirakan mengunakan diagram *Continuous Cooling Transformation* (*CCT*) yang secara skema digambarkan pada Gambar II.8



Gambar II. 8 Diagram CCT (Wiryosumarto, 2004)

Gambar II.9 memperlihatkan perubahan temperature dan tegangan sisa setelah dilakukan pengelasan.



Gambar II. 9 Perubahan temperatur dan tegangan sisa pada saat pengelasan (Kou, 1987)

II.9 Dampak korosi

Melihat aspek elektrokimia, korosi merupakan proses terjadinya transfer elektron pada logam dengan lingkungan. Logam sebagai sel yang memberikan

elektron (anoda) dan lingkungannya sebagai penerima elektron (katoda). Reaksi ini terjadi pada logam yang mengalami korosi adalah reaksi oksidasi, dimana atom - atom logam larut kelingkungannya menjadi ion-ion dengan melepaskan elektron pada logam tersebut. Sedangkan dari katoda terjadi reaksi, dimana ion -ion dari lingkungan mendekati logam dan menangkap elektron - elektron yang tertinggal pada logam.

Dampak yang timbul pada proses korosi ini dapat berupa kerugian secara langsung maupun kerugian tidak langsung. Kerusakan akibat kerugian langsung ini biasanya terjadi pada permesinan ataupun stuktur bangunan. Sedangkan untuk kerugian tidak langsung berupa terhentinya aktifitas produksi, yang umumnya terjadi untuk penggantian peralatan yang rusak akibat korosi. Bahkan kerugian tidak langsung berupa terjadinya kecelakaan kerja yang dapat menimbulkan korban jiwa.

HALAMAN INI TIDAK TERSEDIA

BAB III DAN BAB IV

DAPAT DIAKSES MELALUI

UPT PERPUSTAKAAN UNWAHAS

BAB V
PENUTUP

V. 1 Kesimpulan

Hasil pengujian pada baja karbon rendah yang telah dilakukan pengelasan dengan metode pendinginan celup, kain basah dan pendinginan udara maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengelasan SMAW pada baja karbon dengan berbagai media pendinginan didapatkan hasil laju korosi pada proses pendinginan celup dengan nilai 0,152 mpy, pada pendinginan kain basah sebesar 0,171 mpy dan pendinginan udara dengan nilai 0,178 mpy untuk nilai ketahanan terhadap korosi didapat pada pendinginan air dengan metode celup.
2. Pada daerah HAZ struktur mikro didominisi oleh *ferrite* dan sedikit martensit untuk daerah dekat garis lebur *ferrite* akan mengalami pertumbuhan dengan cepat pada saat pengelasan, sehingga struktur berubah sesuai siklus termal yang terjadi. Tegangan sisa juga mengakibatkan daerah HAZ mengalami penurunan kekuatan menjadi daerah yang rawan getas dan ketahanan korosi pada daerah HAZ berkurang.

V. 2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat diberikan saran sebagai berikut :

1. Adanya penelitian lebih lanjut mengenai pengendalian korosi yang lebih baik pada baja karbon.
2. Adanya penelitian lebih lanjut tentang pembentukan karbida .

DAFTAR PUSTAKA

ASM Handbook, 1992, *Metallography and Microstructures, Volume 9*, ASM International.

Broomfield. J.P, 2007. Corrosion of Steel in Concrete. 2 nd Edition., E & FN SPON., London.

Fontana Mars , 1978 , Corrosion Engineering, Mc Graw - Hill, Inc.

Fontana, M.G. 1986. Corrosion Engineering, Mc Graw Hill Book. New York.

Gunawan, E., 2017. Pengaruh Temperatur pada Proses Perlakuan Panas Baja Tahan Karat Martensik AISI 431 Terhadap Laju Korosi dan Struktur Mikro. Engineering and Sains Journal, Vol 1,No. 1: 55-66.

Kevin J. Pattireuw, Dkk, 2013. Tugas Akhir "Analisis Laju Korosi Pada Baja Karbon Dengan Menggunakan Air Laut Dan H_2SO_4". Manado

Jones, D. A. 1992. *Principle and Prevention of Corrosion*. New York, MacMillan.

Kohar, R., 2013. Laju dan Bentuk Korosi Pada Baja Karbon Menengah Yang Dapat Perlakuan Pada Suhu Austenit Diuji Di Dalam Larutan NaCl 3 N. *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 1 (1): 44-49.

Kou,S., 1987 , Welding Metallurgy, John Willey Sons, Inc., New York.

Pratama, P. A. 2008. Tugas Akhir "*Pengaruh Quenching Terhadap Karakteristik Mekanis dan Ketahanan Korosi padaMaterial Super Duplex UNS S32750 Lasan".* Jakarta: FMIPA UI

Priatama A, Suharno, dan Ranto. 2014. Pengaruh Temperatur Quench Terhadap Laju Korosi dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Baja Keylos 50. 1.

Sonawan, dan Suratman, 2004 , Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logam, Cetakan Pertama Alfabeta., Bandung.

Surdia, dan Saito, 1999 , Pengetahuan Bahan Teknik. Cetakan keempat. PT Pradnya Paramita. Jakarta.

Utomo. B. 2009. "Jenis Korosi Dan Penangulangannya". Semarang.

Vlack Van LH. 2001. *Elemen-Elemen Ilmu dan Rekayasa Material Edisi 6*. Jakarta. Erlangga.

Wiryosumarto, Harsono dan Okumura, T. 1996. *Teknologi pengelasan Logam.* PT Pradnya Paramita. Jakarta.

Wiryosumarto. 2000. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : Pradnya Paramita. Jakarta.

Yuono, L.D. dan Dharma, U.S. 2017 " Pengaruh pendinginan cepat terhadap laju korosi Hasil pengelasan baja aisi 1045"